Transactions of KSAE, Vol. 14, No. 4, pp.115-122 (2006)

Copyright © 2006 KSAE
1225-6382/2006/082-15

바이오디젤유를 사용하는 간접분사식 디젤기관의 내구 및 배기 특성

유 경 현[*1] · 오 영 택[2]

군산대학교 기계공학부[1] · 전북대학교 기계공학과[2]

The Durability and Exhaust Emission Characteristics of an IDI Diesel Engine Using Biodiesel Fuel

Kyunghyun Ryu[*1] · Youngtaig Oh[2]

[1]*School of Mechanical Engineering, Kunsan National University, Jeonbuk 573-701, Korea*
[2]*Department of Mechanical Engineering, Chonbuk National University, Jeonbuk 561-756, Korea*
(Received 12 December 2006 / Accepted 10 February 2006)

Abstract : To evaluate the durability characteristics of in-direct injection diesel engine using BDF 20(a blend of 20% biodiesel fuel and 80% diesel fuel in volume), an IDI diesel engine used to commercial vehicle was operated on BDF 20 for 300 hours. Engine dynamometer testing was completed at regularly scheduled intervals to investigate the combustion characteristics, engine performance and exhaust emissions. The engine performance and exhaust emissions were sampled at 1 hour interval for analysis.

From the results, the combustion variations such as the combustion maximum pressure (P_{max}) and the crank angle at which this maximum pressure occurs (Θ_{Pmax}) were not appeared during long-time dynamometer testing. Also, BSFC with BDF 20 resulted in lower than with diesel fuel. The peak pressure with BDF 20 was higher than that with diesel fuel due to the oxygen content in BDF. And, BDF 20 resulted in lower emissions of carbon monoxide, carbon dioxide, and smoke emissions with a little increase of oxides of nitrogen than diesel fuel. It was concluded that there was no unusual deterioration of the engine, or any unusual change in exhaust emissions during the durability test of an IDI diesel engine using BDF 20.

Key words : Biodiesel fuel(바이오디젤유), Diesel engine(디젤기관), Durability(내구성), Exhaust emissions(배기배출물), Smoke(매연), NOx(질소산화물)

Nomenclature

P_{max} : maximum combustion pressure, bar
dP_{max} : maximum rate of pressure rise, bar/°CA
ΘP_{max} : crank angle at which combustion maximum pressure occurs, °CA
Θ_{dPmax} : crank angle at which maximum pressure rise rate .occurs, °CA

*Corresponding author, E-mail: khryu@kunsan.ac.kr

1. 서 론

바이오디젤유는 동물유나 식물유로부터 지속적으로 생산 가능하고 상용 디젤엔진의 특별한 변경 없이 사용이 가능하다는 장점 때문에 전세계의 에너지공급의 불안을 해소하고 지구 온난화의 주요 원인인 CO_2의 배출량을 줄일 수 있는 차세대 디젤기관 자동차용 대체연료로 많은 각광을 받고 있다.

그러나 바이오디젤유는 연료 자체내에 산소를 함유한 연료로 매연저감에 효과적인 특징을 가지고

있으면서도 점도가 경유의 경우보다 약간 높고 저온유동점이 높기 때문에 순수 바이오디젤유를 동절기와 같은 저온에서 사용하는데 불리한 특징을 갖고 있어 실용화에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

현재는 세계 각국의 지역 농산물의 생산품에 따라서 채종유, 대두유, 팜유 등을 이용한 각기 다른 바이오디젤유들이 연구되어 왔으며,[1-7] 현재까지 바이오디젤유를 안정적으로 사용하기 위한 방법으로 바이오디젤유를 경유와 혼합하여 사용하는 방법이 권장되어 왔고, 경유에 바이오디젤유 20%(추후 BDF 20으로 표기)이하로 혼합하여 적용하는 것이 안정적이라고 평가받고 있다.

국내에서도 2002년부터 일부 지역을 중심으로 바이오디젤유가 시범 보급되어 온 이래 BDF 20에 대한 기관성능 평가[8,9]와, 농업용 직접분사식 디젤기관과 간접분사식 디젤기관에 대한 내구성평가[10,11]도 완료되어 긍정적인 평가를 받고 있다.

하지만, 바이오디젤유의 전국적인 확대 보급을 유도할 수 있는 자동차용 디젤기관에 대한 장기간 운전시의 내구성 평가가 아직 미흡한 실정이며, 특히 분사시기가 일정한 독립형 분사펌프를 장착한 농업용 간접분사식 디젤기관[11]과는 다르게 타이머가 장착된 분배형 분사펌프를 사용하고 있는 자동차용 간접분사식 디젤기관에 대한 명확한 평가도 전무하여 이에 대한 평가가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 BDF 20을 자동차용 간접분사식 디젤기관에 장시간 적용할 경우 BDF 20에 대한 기관의 연소변동 특성, 내구성 및 배기배출물 변화 특성을 파악하여 BDF 20에 대한 장시간 운전시의 특성을 고찰하고 농업용 간접분사식 디젤기관과의 차이를 비교 · 평가하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치 및 연료

장시간의 내구성 평가를 위해 실험에 사용된 간접분사식 기관은 수냉식, 4기통, 4행정 디젤기관이며, 시동모터에 의해서 시동이 되고 기관부하와 기관 회전속도는 엔진 동력계(HW130)에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 기관의 주요 사양을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Specifications of test engine

Item	Specification
Engine model	HD D4BA
Number of cylinder	4
Bore × stroke	91.1 × 95(mm)
Displacement	2476 (cm^3)
Compression ratio	21
Combustion chamber	Swirl chamber
Coolant temperature	80±2°C
Injection type	In-direct injection
Injection pressure	150 bar

Table 2 Properties of test fuels

Item	Test results	
	Diesel fuel	BDF 20
Sulfur(wt. %)	0.031	0.025
Ash(wt. %)	< 0.01	< 0.01
Flash point(PM, °C)	74	78
Specific gravity(15/4°C)	0.8373	0.8464
Pour point(°C)	-20.0	-12.5
Viscosity(50°C, cSt)	3.0	3.2
LHV(MJ/kg)	45.88	44.5366
Cetane number	51.4	53.6
CFPP(°C)	-20	-9
Carbon(wt. %)	85.83	84.63
Hydrogen(wt. %)	13.82	13.54
Nitrogen(wt. %)	0.16	0.18
Oxygen(wt. %)	0	1.61

실험에 사용된 연료는 상용연료인 경유 80%와 바이오디젤유 20%를 체적비율로 혼합한 BDF 20을 이용하였다. Table 2[12]는 실험에 사용된 연료의 물성치를 나타낸 것으로, 바이오디젤유는 미강유를 생산하고 나오는 부산물로부터 생산된 것이다. BDF 20은 경유에 비해 낮은 발열량을 갖고 있지만, 경유보다 세탄가가 높고 인화점도 높아 사용하기에 안전한 특성을 갖고 있다. 또한, 바이오디젤유는 탄소함량이 경유보다 적고, 경유가 갖고 있지 않은 산소를 약 1.61% 함유하고 있다.

2.2 실험 방법

장시간의 내구성을 시험하기 위하여 엔진 동력계에 장착된 실험용 엔진을 이용하여 워밍업이 끝난 상태에서 엔진의 최대 토오크가 발생하는 기관회전속도 2000rpm에서 90% 부하로 300시간동안 BDF 20

으로 운전하였다. 각종 기관 성능 및 배기 배출물은 1시간 간격으로 취득하였으며, 실험시의 냉각수 온도는 80±2°C로 일정하게 유지하였다.

BDF 20이 배기가스 배출특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 매연은 배기다기관으로부터 300mm 하류에 설치된 Bosch 타입의 매연측정기(HBN 1500)를 이용하여 1시간 간격으로 3회 반복 측정하여 최대값과 최소값의 편차가 ±5%이상 나타나지 않았을 때 그 평균값을 매연농도로 정하였다. NOx, CO, O_2 및 CO_2는 전기화학적셀 방식의 배기가스분석기(Greenline MK 2)를 이용하여 측정하였으며, 샘플링 중간에 필터를 장착하고 매연 입자를 여과한 후 측정하였고 실험시간의 진행에 따라 새로운 필터로 교체하여 샘플링 값의 측정오차를 줄였다. Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다.

또한, BDF 20을 사용한 경우의 내구성 실험시의 데이터를 분석하고 비교·평가하기 위하여, BDF 20의 내구성 실험을 진행하기 전에 동일한 조건하에서 경유만을 가지고 15시간 동안 운전하여 기본 데이터를 취득하였다.

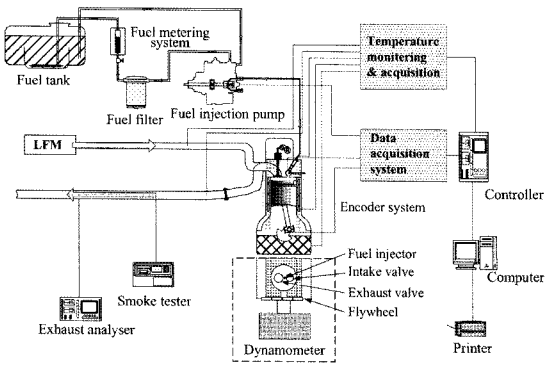


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 연소 변동과 제동연료소비율

Fig. 2는 2000rpm, 90% 부하에서 BDF 20에 대한 내구시험시의 연소압력을 경유와 비교하여 나타낸 것으로, 연소후반부의 연소압력 피크가 경유만을 사용하는 경우보다 BDF 20을 사용하는 경우가 더 높게 나타났다. 이는 유 등[10,11]의 연구결과에서처럼 바이오디젤유의 세탄가가 경유보다 더 높고 연료속

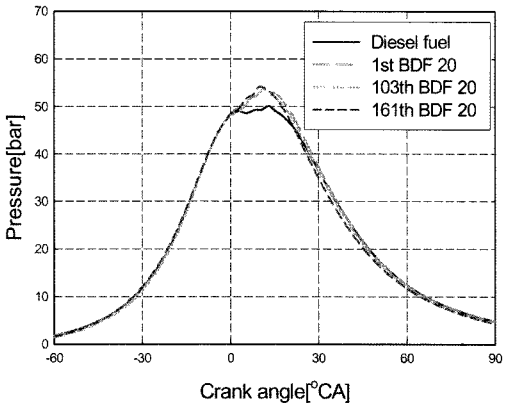


Fig. 2 Pressure versus crank angle at 2000rpm and 90% load

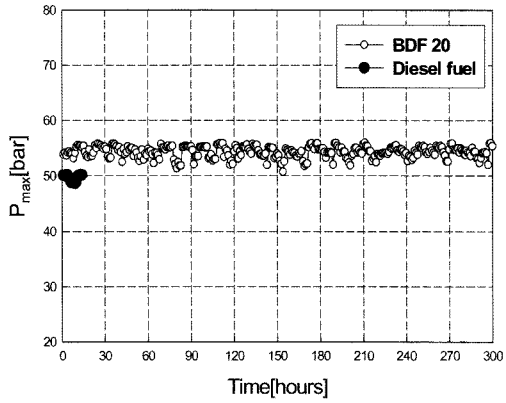


Fig. 3 Maximum pressure versus time variation with BDF 20 and diesel fuel

에 산소를 함유하고 있기 때문에 연소를 활발하게 촉진시켰기 때문으로 분석된다. 또한, BDF 20을 사용한 경우의 연소압력선도는 내구성 실험 초기시나 103시간 후, 그리고 161시간 후에도 특별한 변동없이 비슷한 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

Fig. 3은 2000rpm, 90%부하에서 BDF 20을 사용할 경우 연소변동특성을 파악하기 위하여 운전시간에 따른 연소실내 최고압력(P_{max})의 변화율을 나타낸 것이다. BDF 20을 사용할 경우가 최고 피크압력이 경유만을 사용하는 경우보다 크게 나타났고, 최고 피크압력이 내구성실험 초기시의 압력과 300시간 이상 BDF 20으로 운전하여도 표준편차 1.0384으로 비교적 안정적으로 나타났지만, 농업용 간접분사식 디젤기관[11]에서 최고피크압력이 경유의 경우보다 낮게 나타난 것과는 상이한 특성을 나타냈다.

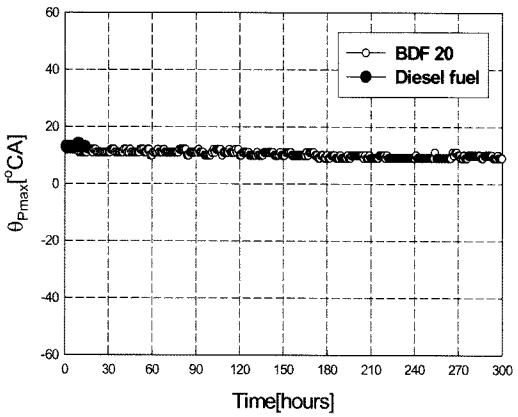


Fig. 4 Crank Angle at maximum pressure versus time variation with BDF 20 and diesel fuel

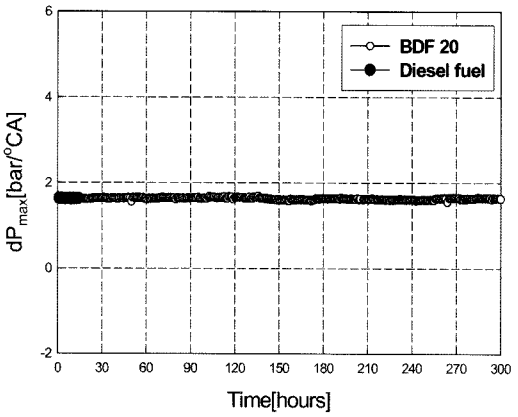


Fig. 5 Maximum pressure rise rate versus time variation with BDF 20 and diesel fuel

Fig. 4는 Fig. 3과 동일한 조건에서 최고 피크압력이 발생할 때의 크랭크각도를 운전시간에 따라 나타낸 것으로, 경유와 비교하여 최대 피크압력이 발생하는 크랭크각도(Θ_{Pmax})는 BDF 20을 사용할 경우가 약간 진각됨을 알 수 있었으며, 장시간 운전하였을 경우에도 표준편차 1.0255로 나타날 정도로 매우 안정적인 값을 보였으나, 농업용 디젤기관의 경우[11]에 경유의 경우와 비슷하게 나타난 것과는 상이함을 알 수 있다. 이는 분사펌프의 영향이라 판단되나 명확한 결론을 위해서는 구체적인 연구가 필요하리라 생각된다.

Fig. 5는 Fig. 3과 동일한 조건하에서의 BDF 20을 사용한 경우의 운전시간에 따른 최대 압력상승율(dP_{max})을 나타낸 것으로, BDF 20을 사용한 경우와

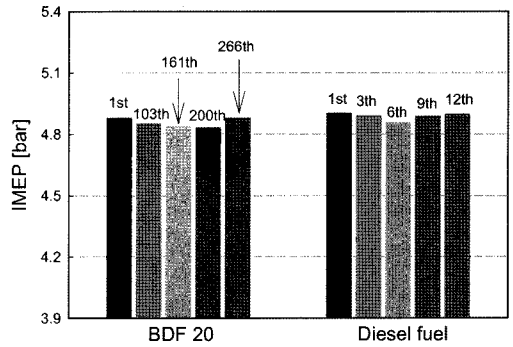


Fig. 6 Engine performance at 2000rpm and 90% load

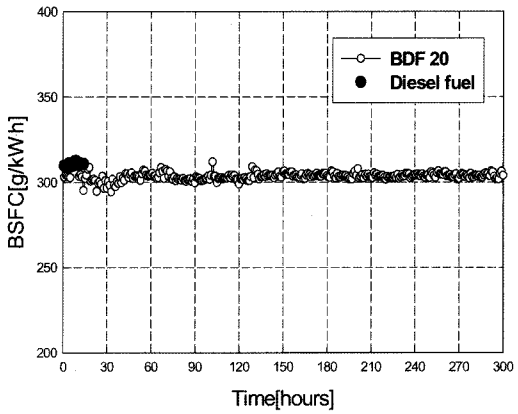


Fig. 7 BSFC versus time variation

경유의 경우에 비슷한 경향을 보였으며, 시간이 지남에 따라서도 BDF 20에 대한 최대 압력상승율의 표준편차가 0.0199로 나타날 정도로 특별한 변동을 보이지 않았다.

Fig. 6은 Fig. 2에서 제시된 실린더 압력데이터로부터 얻어진 IMEP(indicated mean effective pressure)을 나타낸 것으로, 출력의 경우 그래프에서 알 수 있는 것처럼 시간에 따라 약간의 차이는 있지만 BDF 20을 사용한 경우 발열량의 차이가 있음에도 불구하고 경유를 사용한 경우와 비슷하게 나타났으며, 내구시험 전체의 IMEP 평균 값을 비교하였을 경우에도 BDF 20을 사용한 경우가 경유를 사용한 경우의 4.8856 bar보다 약간 낮은 4.8756 bar를 나타냈다. 이는 선행 연구[13] 결과처럼 연료의 발열량이 작음에도 불구하고 연료내의 산소로 인해 연소후반부에 활발한 연소를 하여 최고 피크 압력은 상승하지만, Fig. 4에서 알 수 있는 것처럼 바이오디젤유의 세탄

가가 경유보다 높아 착화가 빨리 일어나고 최고 피크압력이 발생하는 위치가 경유를 사용하는 경우보다 진각되어 연소가 일찍 종결되었기 때문으로 사료된다.

Fig. 7은 BDF 20을 사용할 경우 운전시간에 따른 제동연료소비율을 나타낸 것으로, BDF 20을 사용할 경우가 경유만을 사용한 경우보다 평균 2.3% 낮게 나타남을 알 수 있었다. 이는 바이오디젤유를 사용할 경우 연료 자체에 함유한 산소가 활발한 연소를 촉진시켜 기관성능이 향상되었기 때문으로 생각되나, 농업용 디젤기관[11]에서 제동연료소비율이 비슷하게 나타난 것과는 다르게 나타남을 알 수 있어 분사펌프에 의한 영향도 작용했으리라 사료된다. 한편, 운전시간이 증가함에 따라서는 초기에 약간의 변동이 발생했을 뿐 300시간동안 제동연료소비율의 큰 변동은 나타나지 않았다.

3.2 배기 배출물 특성

Fig. 8은 BDF 20을 사용할 경우 운전시간에 따른 매연의 배출농도를 나타낸 것이다. 전체적으로 경유만을 사용한 경우보다 매연농도가 평균 17.5%정도 저감됨을 알 수 있으며, 장시간 BDF 20을 사용하여 운전하여도 매연의 농도가 증가하지 않았다. 이는 BDF 20을 사용할 경우 연료속의 산소함량으로 인하여 연소가 촉진되어 매연의 농도를 경유만을 사용하는 경우보다 저감시킨 것으로 사료되나, 직접분사식(매연 저감율 38.4%) 기관의 경우[10]처럼 매연의 저감율이 크게 나타나지는 않았다.

Fig. 9는 BDF 20을 사용한 경우 운전시간에 따른 NOx의 배출특성을 나타낸 것이다. 운전시간이 증가함에 따라 BDF 20을 사용할 경우 배출특성에 약간의 변동이 있었으나 전체적으로 약간 더 높은 NOx 배출특성을 보였으며, BDF 20을 사용할 경우가 경유만을 사용한 경우보다 NOx의 배출량이 평균적으로 약 17% 증가하는 전형적인 매연과의 상반(trade-off)관계를 보였다. 특히, 농업용 디젤기관의 경우[11]에서는 경유와 비교하여 큰 차이를 보이지 않은 특성과 비교해 보면, 이는 분배형 분사펌프의 영향과 BDF 20의 산소함유량에 의해 나타난 연소후반부의 활발한 연소로 NOx의 생성이 촉진되었기 때문으로 생각된다.

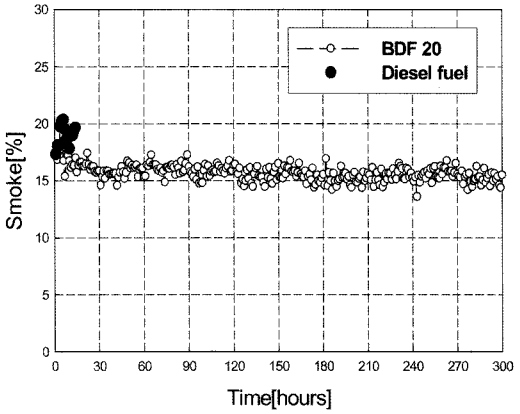


Fig. 8 Smoke versus time variation with BDF 20

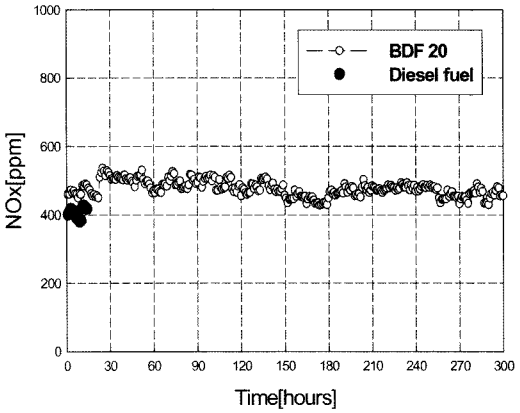


Fig. 9 NOx versus time variation with BDF 20

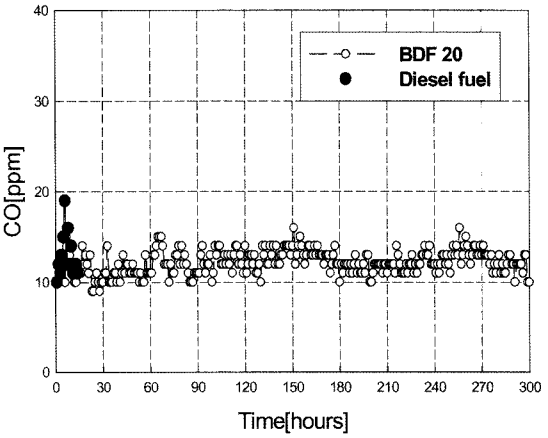


Fig. 10 CO versus time variation with BDF 20

Fig. 10은 BDF 20을 사용할 경우 운전시간에 따른 CO의 배출 특성을 나타낸 것이다. 전체적으로 BDF 20을 사용할 경우가 경유만을 사용한 경우보다 CO

의 배출 값이 평균 5.3% 저감되는 것을 알 수 있으며, 이는 경유보다 더욱 활발한 연소를 하였기 때문으로 사료된다. 그러나, 모든 연료에 있어서 분사시기가 일정하게 고정되어 있는 간접분사식 농업용 디젤기관의 경우[11]보다는 CO의 배출량이 작게 나타나는 경향을 보였다.

Fig. 11과 12는 BDF 20을 사용할 경우 배기 배출물중 CO_2와 O_2의 배출 특성을 운전시간대별로 각각 나타낸 것이다. CO_2의 경우 BDF 20을 사용할 경우가 경유만을 사용한 경우와 비슷하거나 약간 적게 나타났다. 이는 BDF 20이 경유보다 활발한 연소를 하였음에도 불구하고 BDF 20의 탄소함유량이 경유의 경우보다 작기 때문에 나타난 것으로 사료된다. 또한, 운전시간이 증가함에 따라서는 약간의 배출 변동을 발생하였으나 큰 폭의 변동특성이 나타나지 않았다. 하지만, O_2의 배출 특성은 BDF 20속에 함유한 산소의 영향으로 배기가스내의 잔존 산소함유량은 경유만의 경우와 비슷한 경향을 보였으며 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

Fig. 13은 장시간 BDF 20을 사용할 경우 운전시간에 따른 배기다기관 하단에서의 배기가스 온도를 나타낸 것이다. BDF 20을 사용한 경우가 경유만을 사용하는 경우의 배기가스 평균온도 444.5°C보다 낮은 429.4°C로 약간 낮게 나타났다. 이는 Fig. 2에서 살펴본 것처럼 BDF 20의 세탄가가 경유보다 높아 착화지연기간을 단축시키고, BDF 20이 함유한 산소로 인해 매연이 주로 생성되는 연소 후반부의 연소가 촉진되어 연소가 일찍 종료되었기 때문으로

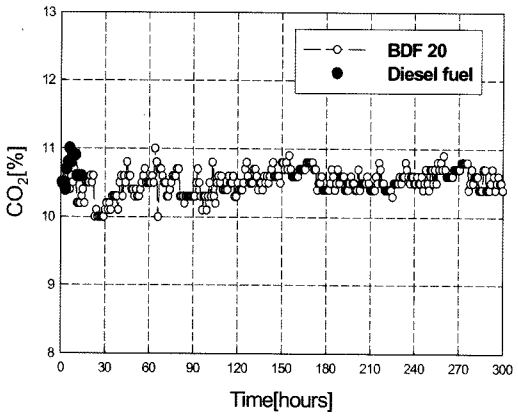


Fig. 11 CO_2 versus time variation with BDF 20

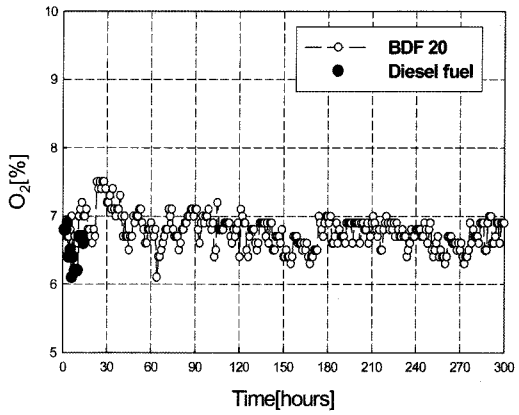


Fig. 12 O_2 versus time variation with BDF 20

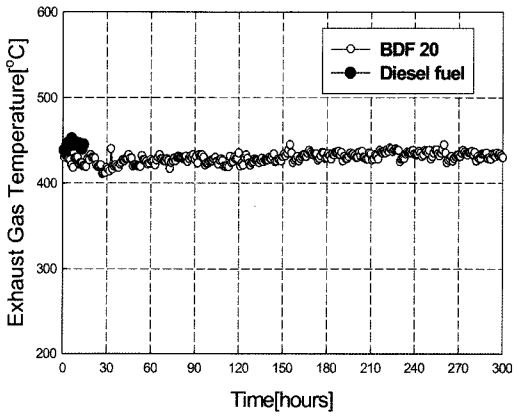


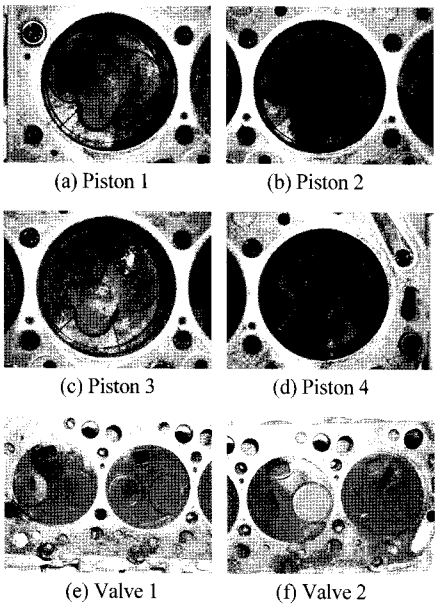
Fig. 13 Exhaust gas temperature versus time variation with BDF 20

사료된다.

3.3 기관 부품 및 윤활유 특성 변화

Fig. 14는 300시간동안 BDF 20으로 운전한 후 기관의 각 부품들의 변화 특성을 파악하기 위하여 기관을 분해하여 촬영한 실린더와 실린더 헤드의 사진을 나타낸 것이다. 사진에서 볼 수 있는 것처럼 2번과 4번 의 실린더 상부의 부연소실과 연결되는 부분에 약간의 카본이 부착된 것을 제외하고는 실린더와 밸브들을 조사한 결과 기관 부품의 마모나 큰 카본 퇴적 등의 현상은 나타나지 않았다.

Fig. 15는 BDF 20으로 장시간 운전한 후 연료분사기의 노즐의 변화 상태를 파악하기 위해 연료분사기의 노즐 니들 팁(needle tip)을 확대하여 촬영한 사

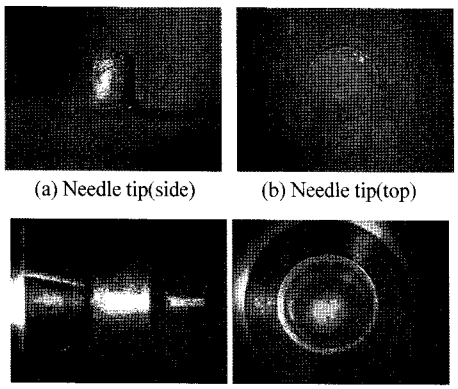


(a) Piston 1 (b) Piston 2

(c) Piston 3 (d) Piston 4

(e) Valve 1 (f) Valve 2

Fig. 14 Photography of engine parts after tear-down



(a) Needle tip(side) (b) Needle tip(top)

(c) Needle(side) (d) Needle(top)

Fig. 15 Photography of fuel injectors

진을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼, BDF 20을 사용한 경우, 연료분사기의 노즐에 약간의 카본이 부착되어 있으나 연료분사기의 막힘이나 연료 분사 불균일을 초래할 정도의 니들 밸브의 고착이나 마모 현상은 발생하지 않았다.

Table 3[14]은 BDF 20으로 내구성 실험을 마친 후 엔진 오일을 샘플링하여 오일의 특성을 분석한 것이다. 육상 3종 내연기관용 표준치와 비교하였을 때 내구성실험을 마친 엔진 오일의 상태는 매우 양호하게 나타남을 알 수 있어, BDF 20으로 장시간 디젤기관에 적용할 경우에도 윤활유의 악화현상은 나타

Table 3 Properties of engine oil sampled after durability test

Item		Test results[14]	Standard (SAE 15W)
Water content (Vol.%)		< 0.025	-
Flash point (COC, °C)		244	> 175
Kinematic viscosity (cSt)	40°C	122.1	-
	100°C	16.72	> 5.6
Viscosity index		149	> 85
Oxidation stability	Viscosity ratio	0.96	< 1.5
	Lacquer	No detect	< thin
Apparent viscosity (-20°C, P)		5.90	< 35.0
Pour point(°C)		-32.5	< -22.5

나지 않음을 알 수 있다. 이는 바이오디젤유의 윤활성이 양호[11]하기 때문에 엔진 오일의 특성을 악화시키지 않았기 때문으로 사료된다.

4. 결 론

자동차용 간접분사식 디젤기관을 이용하여 BDF 20으로 최대 토오크가 발생하는 2000rpm과 90% 부하에서 장시간 운전하였을 경우, 내구 및 배기 배출특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 자동차용 간접분사식 디젤기관에 BDF 20을 장시간 사용하여도 최고 피크압력, 최고 피크 압력상승율, 최고피크압력에서의 크랭크각도 등의 연소변동인자들은 특별한 변동없이 매우 안정적으로 나타났으며, 제동연료소비율은 BDF 20을 사용한 경우가 경유의 경우보다 평균 2.3% 감소하였고 장시간 사용시에도 악화되지 않음을 알 수 있었다.
2) BDF 20을 사용한 경우 매연과 CO는 경유의 경우보다 각각 평균 17.5%와 5.3% 감소함을 알 수 있었으며 장시간 운행하여도 특별한 배출변동은 없었으나, 매연의 경우 직접분사식 디젤기관보다 감소율이 적게 나타났다. 한편, NOx의 배출특성은 경유의 경우보다 17% 증가하여 매연과의 상반관계를 보였으며, CO_2는 전 운전영역에서 경유의 경우보다 약간 감소하거나 비슷하게 나

타났다.

3) 농업용 간접분사식 디젤기관과 비교하여, 최고피크압력이 상승하고 최고피크압력이 발생하는 크랭크각도도 진각되어 제동연료소비율이 개선되었으며, NOx의 배출율은 증가하였고 CO의 배출량은 작게 나타났다.
4) BDF 20을 장시간 사용할 경우, 윤활유의 특성은 악화하지 않았고, 연소실이나 연료분사기와 같은 기관 부품들의 마모나 큰 카본 퇴적 현상 등은 나타나지 않았다.

이상에서와 같이, 자동차용 간접분사식 디젤기관에 BDF 20으로 장시간 운전하여도 연소변동은 나타나지 않았으며, NOx를 제외한 배기 배출물이 저감되고 기관부품들의 내구특성도 안정적임을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단 대체에너지실용화평가사업의 지원과 2005학년도 군산대학교 신임교수 연구비 지원에 의해 이루어진 것으로 관계기관에 감사를 드립니다.

References

1) K. W. Scholl and S. C. Sorenson, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," SAE 930934, 1993.
2) M. Ziejewski, K. R. Kaufman, A. W. Schwab and E. H. Pryde, "Diesel Engine Evaluation of an Nonionic Sunflower Oil-Aqueous Ethanol Microemulsion," Journal of the American Oil Chemists Society, Vol.61, No.10, pp.1620-1626, 1984.
3) L. G. Schumacher, S. C. Borgelt and W. G. Hires, "Soydiesel/Biodiesel Blend Research," ASAE 93-6523, 1993.
4) D. L. Reece and C. L. Peterson, "A Report on the Idaho on-road Vehicle Test with RME and Neat Rapeseed Oil as an Alternative to Diesel Fuel," ASAE 93-5018, 1993.
5) W. F. Marshall, "Effects of Methyl Esters of Tallow and Grease on Exhaust Emissions and Performance of a Cummins L10 Engine," Itt Research Institute, National Institute for Petroleum and Energy Research, 1993.
6) Y. T. Oh, "Vegetable Oils for Diesel Fuel Substitutes," Journal of KSAE, Vol.18, No.2, pp.72-92, 1996.
7) H. K. Suh, S. W. Park, S. I. Kwon and C. S. Lee, "Macroscopic Behavior and Atomization Characteristics of Bio-diesel Fuels," Transactions of KSAE, Vol.12, No.6, pp.23-29, 2004.
8) K. Ryu, Y. Yun and Y. Oh, "A Study on the Usability of Biodiesel Fuel as an Alternative Fuel for IDI Diesel Engine," Proceedings of the KSME 2002 Spring Annual Meeting, pp.2025-2030, 2002.
9) K. Ryu, Y. Yun, and Y. Oh, "The Characteristics of Performance and Emissions of Agricultural Diesel Engine using Biodiesel Fuel," Proceeding of KSAE Gwangju-Honam Branch 2002 Spring Conference, pp.9-16, 2002.
10) K. Ryu and Y. Oh, "Durability Test of a Direct Injection Diesel Engine Using Biodiesel Fuel," Transactions of KSAE, Vol.12, No.1, pp.32-38, 2004.
11) K. Ryu and Y. Oh, "Durability Characteristics of an IDI Diesel Engine Using Biodiesel Fuel," Transactions of KSAE, Vol.13, No.6, pp. 120-127, 2005.
12) Korea Petroleum Quality Inspection Institute, Requested Test Results, No.17(Chonbuk 28450-36), 2002.
13) K. Ryu, Y. Yun and Y. Oh, "The Combustion Characteristics of Biodiesel Fuel as an Alternative Fuel for IDI Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.11, No.1, pp.72-78, 2003.
14) Korea Petroleum Quality Inspection Institute Young-Nam Branch, Requested Test Results, No.258, 2003.